



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 102 06 751 A 1**

⑥1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 21/205**  
H 01 L 33/00

②1 Aktenzeichen: 102 06 751.1  
②2 Anmeldetag: 19. 2. 2002  
④3 Offenlegungstag: 3. 7. 2003

DE 102 06 751 A 1

RFST AVAILABLE COPY

⑥6 Innere Priorität:  
101 63 715. 2      21. 12. 2001

⑦1 Anmelder:  
Aixtron AG, 52072 Aachen, DE

⑦4 Vertreter:  
H.-J. Rieder und Partner, 42329 Wuppertal

⑦2 Erfinder:  
Jürgensen, Holger, Dr., 52072 Aachen, DE; Krost,  
Alois, 13587 Berlin, DE; Dadgar, Armin, 10963  
Berlin, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zum Abscheiden von III-V-Halbleiterschichten auf einem Nicht -III-V-Substrat

DE 102 06 751 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abscheiden von III-V-Halbleiterschichten auf einem Nicht-III-V-Substrat, insbesondere Saphir-, Silizium-, Siliziumoxid-Substrat oder einem anderen siliziumhaltigen Substrat, wobei in einer Prozesskammer eines Reaktors aus gasförmigen Ausgangsstoffen auf eine III-V-Keimschicht eine III-V-Schicht, insbesondere Pufferschicht abgeschieden wird.

[0002] Das epitaktische Wachstum von Gruppe-III-Gruppe-V-Halbleitern auf Fremdsubstraten ist derzeit aus Kostengründen angestrebt, weil bspw. Silizium-Substrate deutlich preisgünstiger sind, als III-V-Substrate und insbesondere Galliumarsenidsubstrate und weil eine Integrationsmöglichkeit mit der übrigen Silizium-Elektronik angestrebt wird. Das Abscheiden von III-V-Halbleitern, bspw. Galliumarsenid oder Indiumphosphid oder Mischkristallen daraus führt aufgrund der meist vorhandenen Gitterfehlانpassung zu einer hohen Defektdichte der aufgewachsenen Schicht. Die Abscheidung der Galliumarsenid- bzw. Indiumphosphid-Schicht erfolgt erfindungsgemäß im MOCVD-Verfahren, in dem gasförmige Ausgangsstoffe, bspw. TMG, TMI, TMAI, Arsin oder Phosphin  $\text{NH}_3$  in die Prozesskammer eines Reaktors eingeleitet werden, wo auf einem beheizten Substrathalter das Siliziumsubstrat liegt.

[0003] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren anzugeben, mittels welchem die Defektdichte der aufgewachsenen Schicht reduziert werden kann.

[0004] Gelöst wird die Aufgabe durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung, wobei der Anspruch 1 darauf abzielt, dass unmittelbar auf die III-V-Keimschicht eine die Keimschicht unvollständig oder nahezu unvollständig bedeckende Maskierungsschicht aus im Wesentlichen amorphem Material abgeschieden wird. Dieses Material soll möglichst noch die Eigenschaft besitzen, ein III-V-Wachstum abzuweisen. Die Maskierungsschicht wird erfindungsgemäß als Quasi-Monolage abgeschieden. Es entsteht somit ein Quasi-Monolayer. Die Maskierungsschicht besteht bevorzugt aus einem anderen Halbleitermaterial als die Keimschicht bzw. die darauf abgeschiedene Schicht, bspw. die Pufferschicht. Die Maskierungsschicht kann aus  $\text{Si}_x\text{N}_y$  oder  $\text{SiO}_2$  bestehen. Sie kann aber auch aus Metall bestehen. Zuzufolge des Abscheidens dieser Maskierungsschicht auf der in der Regel weniger als 100 nm dicken Keimschicht wird die Keimschicht bis auf zufällig verteilte Inselbereiche abgedeckt. Nach dem Abscheiden der Maskierungsschicht entsteht somit eine sehr dünne Schicht auf der III-V-Keimschicht oder dem Substrat, auf welcher kein III-V-Material wächst. Der überwiegende Bereich der Oberfläche ist maskiert. Diese Schicht bzw. Maske ist aber nicht geschlossen, sondern bildet inselförmige Freiräume, in denen eine freie III-V-Oberfläche der Keimschicht vorhanden ist. Diese inselartigen III-V-Oberflächenabschnitte bilden Keimzonen für die danach abzuschheidende III-V-Pufferschicht. Nach Abscheiden der Keimschicht wird die Pufferschicht aus einem oder mehreren gasförmigen III-Material und einem oder mehreren gasförmigen V-Material abgeschieden. Dabei erfolgt das Keimwachstum zunächst nur im Bereich der freien III-V-Oberflächen, also an den Inseln, an entfernt voneinander liegenden Orten. Die Wachstumsparameter dieser Schicht (Pufferschicht) werden zunächst so gewählt, dass im Wesentlichen laterales Wachstum stattfindet. Die Keime wachsen demzufolge zunächst aufeinander zu, bis eine im Wesentlichen geschlossene Schicht entstanden ist. Bei diesem Verfahren entstehen großflächig Bereiche mit sehr geringer Defektdichte. Nach dem Schließen der Oberfläche können die Wachstumsparameter derart geändert werden, dass das Wachstum vornehmlich in der vertikalen

Richtung stattfindet.

[0005] In der beigefügten Zeichnung 1 ist auf das Siliziumsubstrat eine mit k bezeichnete Keimschicht aus bspw. Galliumarsenid, Aluminiumnitrid, Aluminiumgalliumnitrid, Galliumaluminiumarsenid oder dergleichen abgeschieden. Auf diese Keimschicht k wird sodann in der zuvor beschriebenen Weise eine Maskierungsschicht aus bspw. Siliziumnitrid oder Siliziumoxid abgeschieden. Dies kann dadurch erfolgen, dass ein siliziumhaltiges Gas und ein stickstoffhaltiges Gas oder ein sauerstoffhaltiges Gas in die Prozesskammer eingeleitet werden. Als Maskierungsschicht ist prinzipiell jede Schicht geeignet, auf der eine weitere Bekeimung des III-V-Materials beim darauffolgenden Abscheiden der Pufferschicht unterdrückt wird. Auf der maskierten Keimschicht erfolgt dann das Abscheiden der eigentlichen Pufferschicht. Dies ist in der Zeichnung 2 dargestellt. Das Wachstum erfolgt dort zunächst nur in lateraler Richtung. Die einzelnen Inseln vergrößern sich in Richtung aufeinander zu. Es herrscht verstärkt ein laterales Wachstum. Die Keime können so schnell koaliesieren. Je nach Kristalltyp lassen sich außerdem z. B. durch schräge Facetten Versetzungen vorzugsweise in die laterale Richtung abbiegen. Neue Versetzungen bilden sich dann nur in den Koaleszenzregionen der lateral wachsenden Schichten. Für eine niedrige Defektdichte ist daher ein großer Abstand der Kristallkeime bzw. noch offenen Stellen der Masken anzustreben. Dieser kann einige  $\mu\text{m}$  betragen.

[0006] Die Zeichnung 3 zeigt mit c die vollständige III-V-Schicht.

[0007] Die Keimschicht selbst dient zum gleichmäßigen Bekeimen des Substrates und bei unpolaren Substraten zur Orientierung des darauf wachsenden Kristalls. So ist dies bei Verwendung des isolierenden Saphirs als Substrates nicht erforderlich und eine direkt auf dem Substrat abgeschiedene In-situ  $\text{Si}_x\text{N}_y$ -Maske kann auch hier zur Verbesserung der kristallographischen Eigenschaften genutzt werden. Solch eine Maskierung ist bei siliziumhaltigen Substraten wie,  $\text{SiC}$ - oder  $\text{SiGe}$ -Schichten und insbesondere bei reinem Silizium nicht kontrollierbar, da das Substrat zu schnell komplett nitriert bzw. oxidiert und die Keimschicht zur Vorgabe der Polarität notwendig ist.

[0008] Zum Erzielen einer gleichmäßigen Bekeimung kann diese auch bei niedrigeren Temperaturen als bei den späteren Wachstumstemperaturen durchgeführt werden und/oder mit Ausgangsstoffen, wie z. B. Aluminium, die eine niedrigere Mobilität besitzen. Somit kann ein in der Regel unerwünschtes Inselwachstum der Keimschicht vermieden und die Polarität bzw. Orientierung für das anschließende Schichtwachstum vorgegeben werden. Bei III-Nitrid-Schichten sind außerdem aluminiumhaltige Keimschichten besonders geeignet, um die Kristallorientierung zu verbessern.

[0009] Eine Variante der Erfindung sieht vor, dass mehrere Maskierungsschichten innerhalb der Pufferschicht abgeschieden werden. Auch hier erfolgt das Aufbringen der Maskierungsschicht In-situ, also unmittelbar nach dem Aufbringen einer III-V-Schicht in derselben Prozesskammer, ohne dass das Substrat abgedeckt oder der Prozesskammer entnommen wird. Die Schichten können auf vielerlei Arten hergestellt werden. So kann bspw. zur Erzeugung einer Maskierungsschicht lediglich Sauerstoff in die Prozesskammer eingebracht werden. Es entsteht dann eine Oxidbildung. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die III-V-Schicht aluminiumhaltig ist. Es bildet sich dann eine Aluminiumoxidmaskierungsschicht. Es kann ebenfalls Silizium zusammen mit Sauerstoff abgeschieden werden. Auch metallische Masken sind verwendbar. Beispielsweise kommt Wolfram in Betracht.

[0010] Eine amorphe Maskierungsschicht besitzt die Wirkung, dass die Kristallperiodizität unterbrochen wird. Die Maskierungsschicht lässt sich auch durch eine Degradation der Halbleiteroberfläche z. B. bei hohen Temperaturen erzielen. Die Öffnungen der Maskierungsschichten können einen Abstand von mehreren 100 Nanometer bis einigen Mikrometer besitzen. Da das Wachstum von den Öffnungen ausgeht, wachsen die Schichten oberhalb der Masken einkristallin, bis sich die einzelnen Keime berühren. Die Keime wachsen in diesem Falle quasi versetzungsfrei bis zu den Koaleszenzstellen. Dort kann es erneut zu Ausbildungen von Versetzungen kommen.

[0011] Es ist vorgesehen, dass auf einen ersten Bereich einer Pufferschicht erneut eine Maske abgeschieden wird. Dieser Pufferschicht-Abschnitt wirkt dann gewissermaßen als Keimschicht für eine darauf abzuschneidende III-V-Halbleiterschicht. Diese Schichtenfolge kann vielfach wiederholt werden, was insgesamt zur einer Verringerung der Versetzungsdichte führt. Auch dann wird der Prozess so geführt, dass jeweils nach dem Abscheiden einer Maskierungsschicht die Prozessparameter so eingestellt werden, dass zunächst bevorzugt ein laterales Wachstum stattfindet, damit sich die Lücken schließen.

[0012] Alle offenbaren Merkmale sind (für sich) erfindungswesentlich. In die Offenbarung der Anmeldung wird hiermit auch der Offenbarungsinhalt der zugehörigen/beigefügten Prioritätsunterlagen (Abschrift der Voranmeldung) vollinhaltlich mit einbezogen, auch zu dem Zweck, Merkmale dieser Unterlagen in Ansprüche vorliegender Anmeldung mit aufzunehmen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Abscheiden von III-V-Halbleiterschichten auf einem Nicht-III-V-Substrat, insbesondere Saphir-, Silizium-, Siliziumoxid-Substrat oder einem anderen siliziumhaltigen Substrat, wobei in einer Prozesskammer eines Reaktors aus gasförmigen Ausgangsstoffen auf das Substrat oder auf eine III-V-Keimschicht eine III-V-Schicht, insbesondere Pufferschicht abgeschieden wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass unmittelbar auf die III-V-Keimschicht oder direkt auf das Substrat eine die Keimschicht unvollständig oder nahezu unvollständig bedeckende Maskierungsschicht aus im Wesentlichen amorphem Material abgeschieden wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1 oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Maskierungsschicht ein Quasi-Monolayer ist.
3. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Maskierungsschicht aus einem anderen Halbleitermaterial als die Keimschicht bzw. die Pufferschicht besteht.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Maskierungsschicht  $\text{Si}_x\text{N}_y$  oder  $\text{SiO}_x$  ist.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Maskierungsschicht ein Metall ist.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Wachstumsparameter der Pufferschicht zunächst auf verstärkt laterales Wachstum eingestellt werden, bis zum Schließen der Schicht.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Keimschicht dünner als 100 nm ist.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass in der III-V-Pufferschicht eine Vielzahl von Maskierungsschichten abgeschieden sind.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass zyklisch Pufferschichtabschnitte und Maskierungsschichten abgeschieden werden.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Maskierungsschicht eine das Abscheiden einer III-V-Schicht abweisende Oberfläche hat.
11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Keimschicht und/oder die Pufferschicht aluminiumhaltig ist und die Maskierungsschicht durch Einleiten von Sauerstoff erzeugt wird.
12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass der Abscheidungsprozess ein MOCVD-Prozess, ein CVD-Prozess oder eine In-situ-Abfolge dieser Prozesse ist.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass der Abscheide ein VPE- oder MBE-Prozess ist.
14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Pufferschicht Bauelementeschichtenfolgen abgeschieden werden.
15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Bauelementeschichtenfolgen Bauelemente gefertigt werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

henden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Keimschicht dünner als 100 nm ist.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass in der III-V-Pufferschicht eine Vielzahl von Maskierungsschichten abgeschieden sind.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass zyklisch Pufferschichtabschnitte und Maskierungsschichten abgeschieden werden.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Maskierungsschicht eine das Abscheiden einer III-V-Schicht abweisende Oberfläche hat.

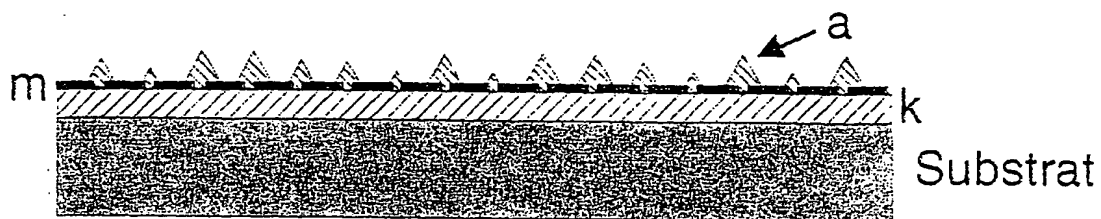
11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass die Keimschicht und/oder die Pufferschicht aluminiumhaltig ist und die Maskierungsschicht durch Einleiten von Sauerstoff erzeugt wird.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass der Abscheidungsprozess ein MOCVD-Prozess, ein CVD-Prozess oder eine In-situ-Abfolge dieser Prozesse ist.

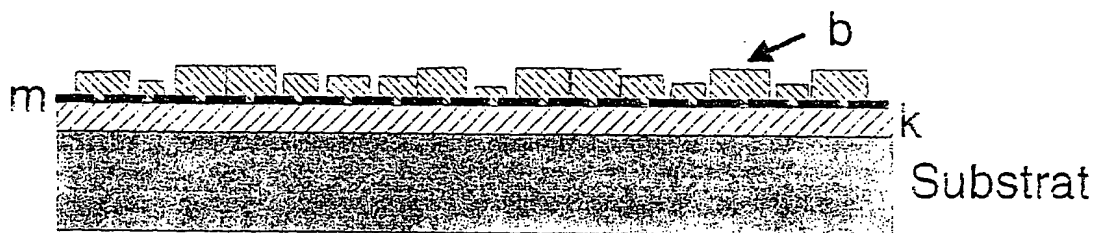
13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass der Abscheide ein VPE- oder MBE-Prozess ist.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Pufferschicht Bauelementeschichtenfolgen abgeschieden werden.

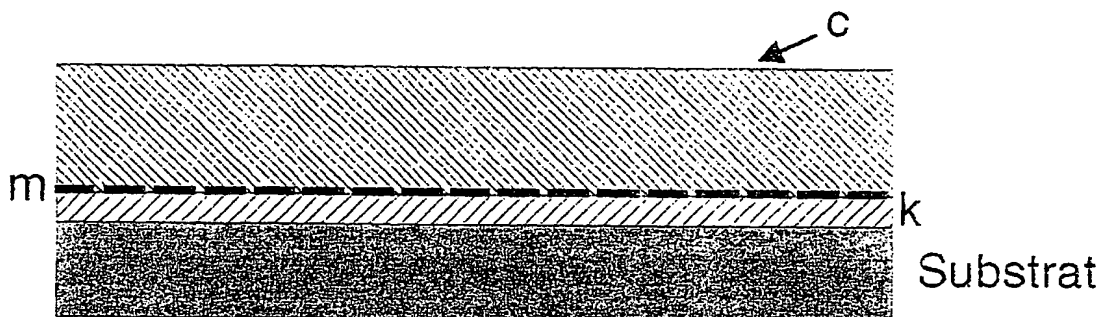
15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche oder insbesondere danach, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Bauelementeschichtenfolgen Bauelemente gefertigt werden.



Zeichnung 1



Zeichnung 2



Zeichnung 3